

OPERATIVNE BRZINE U HORIZONTALNIM KRIVINAMA

Biljana Vukoje (Biljana.Vukoje@gradst.hr)

Sveučilište u Splitu; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Dosadašnja istraživanja sigurnosti vožnje na cesti istaknula su horizontalne krivine kao “crne točke” prometnog sustava. Statistički podaci pokazuju da se više od 50% prometnih nesreća sa smrtno stradalima dogodi na vangradskim dvotračnim cestama, a od čega se više od polovice odnosi na horizontalne krivine [1]. Ta činjenica ukazuje na to da se osim pogrešaka vozača, uzroci nastajanja prometnih nesreća mogu pronaći i u karakteristikama same ceste [2]. Najčešći uzrok nastajanja prometnih nesreća je nekonzistentnost elemenata trase u pogledu održanja željene brzine, odnosno slaba usklađenost karakteristika elemenata ceste s očekivanjima vozača. Vozači odabiru brzine s obzirom na vlastitu percepciju ceste, a te vrijednosti ne odgovaraju brzinama na temelju kojih se elementi ceste projektiraju. Najčešće upotrebljavani kriteriji za provjeru konzistencije zasnivaju se na izradi profila operativne brzine. Operativna brzina definira se kao 85% vrijednost raspodjele brzina slobodnog toka na određenom elementu ceste koju je moguće odrediti iz podataka o stvarnim brzinama reprezentativnog uzorka vozača. Brzina slobodnog toka je brzina kojom vozač vozi kada nema utjecaja drugih vozila.

Prema hrvatskim smjernicama za projektiranje cesta [3] za operativnu brzinu uzima se tzv. računski brzina koja predstavlja teoretsku vrijednost, a određuje se iz osnovne jednadžbe poprečne stabilnosti vozila u krivini (1) za primijenjene radijuse horizontalnih krivina:

$$V_r = \sqrt{127 \cdot R \cdot (q + f_R)} \quad (1)$$

gdje je R radijus krivine, q poprečni nagib kolnika te f_R koeficijent bočnog trenja.

U ovom radu analizirane su brzine slobodne vožnje zabilježene na dionici državne ceste D1 na području Splitsko Dalmatinske županije u Republici Hrvatskoj, u okolici Vrljike (slika 1). Radi se o dvotračnoj izvangradskoj cesti s relativno malim prometnim opterećenjem (prema [4] je prosječni godišnji dnevni promet 2011. godine iznosio 1377 voz/dan) te bez priključaka važnijih cesta. Snimljene su vožnje 15 vozača na dionici duljine 27 km, osobnim automobilima različitih marki i starosti, pod optimalnim vremenskim uvjetima (dnevna vožnja i suh kolnik). Pri tome je korištena metodologija kontinuiranog snimanja podataka zasnovana na GPS uređaju (*Performance Box*) kojom se dobije precizna slika o ponašanju vozača. Uređaj radi na principu da u svakoj desetinki sekunde detektira položaj vozila iz čega se određuju veličine koje su od velikog značaja pri analizi odnosa karakteristika ceste i ponašanja vozača, npr. brzina vožnje, radijus putanje te tangencijalno i radijalno ubrzanje.

Na temelju zabilježenih podataka određene su operativne brzine u horizontalnim krivinama, napravljena je usporedba operativnih brzina i brzina koje se upotrebljavaju prilikom projektiranja te su uspoređene vrijednosti koeficijenata bočnog trenja s maksimalnim i dopuštenim vrijednostima koje daju propisi.

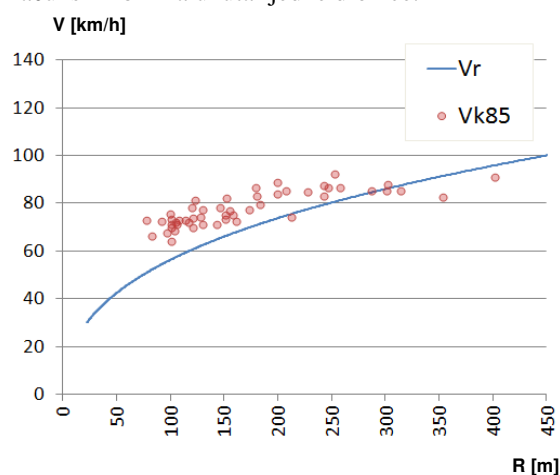


Slika 1: Prikaz analizirane dionice

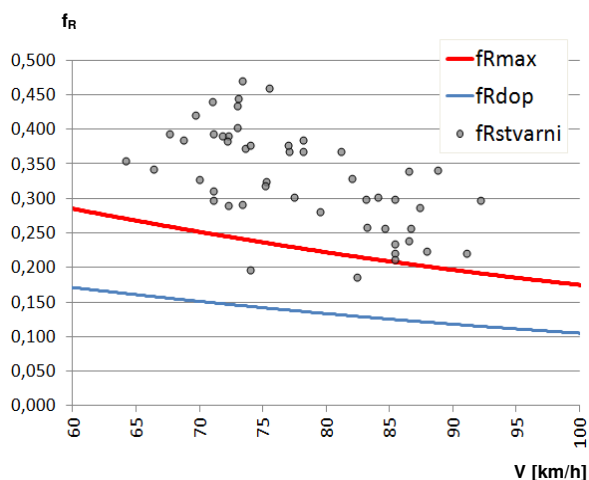
Iz zabilježenih vožnji očitane su brzine i radijusi u krivinama [5] na temelju kojih su određene vrijednosti mjerodavne za analizu, odnosno $V_{k,85}$ (brzina ispod koje vozi 85% vozača) te R_{15} (15% vozača radi manji radijus od ove vrijednosti).

Analizirana dionica državne ceste D1 projektirana je prije donošenje Pravilnika [3], pa je s obzirom na društveno-gospodarsko značenje i zadaću povezivanja pretpostavljeno da je projektirana kao državna cesta 2. kategorije projektne brzine $V_p=60$ km/h. Veličine radijusa te poprečnih i uzdužnih nagiba horizontalnih krivina određene su iz geodetske snimke izvedenog stanja koju su 2006. godine izradile Hrvatske ceste d.o.o.. Za projektnu brzinu od 60 km/h i izvedene radijuse, prema [3], određene su vrijednosti računskih brzina V_r u horizontalnim krivinama. Na slici 2 prikazana je usporedba operativnih i računskih brzina. Može se uočiti da je u krivinama radijusa manjih od oko 300 m operativna

brzina veća od računске što dovodi u pitanje sigurnost odvijanja prometa. Naime, prema hrvatskom pravilniku za projektiranje cesta na temelju računске brzine određuju se veličine poprečnog nagiba kolnika u krivinama te duljine zaustavne preglednosti koje, sa stajališta sigurnosti, predstavljaju najvažnije elemente ceste. Na temelju računске brzine definirani su i kriteriji konzistencije u smislu ograničenja odstupanja računске od projektne brzine te razlike vrijednosti računskih brzina unutar jedne dionice.



Slika 2: Odnos računskih (V_r) i operativnih brzina ($V_{k,85}$) u horizontalnim krivinama



Slika 3: Odnos stvarnih koeficijenata bočnog trenja ($f_{Rstvarni}$) te maksimalnih (f_{Rmax}) i dopuštenih (f_{Rdop}) za operativne brzine

Razlike između operativnih i računskih brzina rezultiraju prekoračenjem dopuštenih vrijednosti bočnog trenja. Za izvedene poprečne nagibe kolnika u krivinama te mjerodavne brzine i radijuse ($V_{k,85}$ i R_{15}), izračunati su stvarni koeficijenti bočnog trenja koji su uspoređeni s maksimalnim i dopuštenim vrijednostima određenima za operativne brzine prema izrazima iz [3]:

$$f_{max} = 0,214 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - 0,640 \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + 0,615 \quad (2)$$

$$f_{Rmax} = 0,925 \cdot f_{max} \quad (3)$$

$$f_{Rdop} = 0,6 \cdot f_{Rmax} \quad (4)$$

Grafički prikaz dan je na slici 3. Vrijednosti stvarnih koeficijenata bočnog trenja u svim krivinama premašuju dopuštene vrijednosti, dok su u usporedbi s maksimalnim vrijednostima veće gotovo u svim krivinama. To ukazuje na opasnost od proklizavanja vozila, naročito u lošijim uvjetima vožnje kao što su mokar i onečišćen kolnik te istrošene gume kotača.

Može se zaključiti da se upotrebom računске brzine projektiraju ceste čiji elementi nisu usklađeni s očekivanjima vozača. Vrijednosti računске brzine podcjenjuju stvarne brzine vožnje što može dovesti do prekoračenja otpora trenja ugodne vožnje te može biti uzrokom nesreća. Sve to ukazuje na potrebu za izmjenama u načinu projektiranja horizontalnog toka trase, odnosno za usklađivanjem mjerodavnih brzina kod projektiranja cesta sa stvarnim brzinama većine vozača.

Literatura

- [1] Lamm, R., Choueiri, E. M., and Mailaender, T. (1992.): "Traffic safety on two continents—a ten year analysis of human and vehicular involvements". Proc., Strategic Highway Research Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents, 18–20.
- [2] Krebs, H. G., and J. H. Kloeckner (1977.): *Investigations of the Effect of Highway and Traffic Conditions Outside Built-Up Areas on Accident Rates*. In *Research Road Construction and Road Traffic Technique (Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik)*, Vol. 223, Minister of Transportation, Bonn, Germany, pp. 1–63
- [3] *Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa* (NN 110/01)
- [4] *Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2011. – sažetak*, Hrvatske Ceste d.o.o.
- [5] Vrsalović, M. (2013.): *Utjecaj radijusa kretanja i operativne brzine vozila na radijalni otpor klizanja u krivinama*, diplomski rad